

Superación de las visiones deformadas de las ciencias a partir de la incorporación de la historia de la física a su enseñanza

Pablo Oscar Chade Vergara

Magister en Enseñanza de las Ciencias, mención en Física. Especialista en Docencia Universitaria. Universidad Nacional de Chilecito, La Rioja, Argentina. pchade@undec.edu.ar

[Recibido en febrero de 2013, aceptado en julio de 2013]

Partiendo del excelente trabajo publicado por Isabel Fernández, Daniel Gil, Jaime Carrascosa, Antonio Cachapuz y Joao Praia (2002) y enrolados en la corriente didáctica que considera imprescindible la incorporación de la historia de la física en su enseñanza, este trabajo demuestra cómo la historia de la física puede ser utilizada para corregir las visiones deformadas, tergiversadas, sesgadas y erróneas que de la Ciencia Física se transmiten a través de su enseñanza.

Palabras Clave: Visiones Deformadas; Historia de la Física; Enseñanza de la Física.

Overcoming Deformed Visions of Science from Integrating History of Physics to his Teaching

Based on the excellent work published by Isabel Fernandez, Daniel Gil, Jaime Carrascosa, Joao Antonio Cachapuz and Joao Praia (2002) and enrolled in the current didactic considered essential to incorporate the history of physics in their teaching, this work shows how History of physics can be used to correct the distorted ways, distorted, biased and erroneous physical science that are transmitted through his teaching.

Keywords: Deformed Visions of Science; History of Physics; Physics Teaching.

Introducción

La ausencia de una perspectiva histórica en la enseñanza de las ciencias, en general, y de la física, en particular, ha generado una percepción global distorsionada de la Ciencia y los conocimientos científicos. La Ciencia es una actividad humana y, en consecuencia, está realizada por hombres, por seres humanos que no pueden ni deben ser despojados de su contexto social, de sus creencias, de su religión, de sus ideas políticas ni de su status económico. Si los hombres tienen su historia, la Ciencia debe tenerla. Sólo así podremos empezar a desmitificar la imagen de la Ciencia y los grandes científicos, que se transformarán en lo que eran y en lo que son: “*personas de carne y hueso que tenían inteligencia e ingenio pero también obsesiones, dificultades, valores, creencias, problemas, enfrentamientos y, a veces, miedo*” (Chade Vergara, 2010). Así lo explica Bridgman (1950): “*Me parece que en lo que concierne a la ciencia una de las cosas más importantes a tomar en cuenta es que se trata de una actividad humana y que esto no puede significar la actividad de los individuos... Si la ciencia se ha enseñado incorporando la historia, este punto de vista será automáticamente importante. Siendo así, es un objetivo que se hace cada vez más importante completar en nuestros días, conocer la apreciación adecuada de las condiciones fundamentales dentro de las cuales se desarrolla la ciencia*”.

La psicología educativa ha desarrollado el paradigma conceptual constructivista, según el cual el aprendizaje se produce en la medida en que el educando es capaz de construir sus propios significados y éstos convergen con los conocimientos que se pretende enseñar. Pues bien, estamos convencidos de que la enseñanza de las ciencias no puede ser ni constructivista, ni completa si está ausente una perspectiva histórica que exponga algunos de los aspectos del

complejo proceso de evolución de los conocimientos científicos y de las mismas relaciones entre la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad en distintos momentos históricos.

Sostenemos que un enfoque de este tipo debe contribuir a mejorar radicalmente la imagen que, sobre la Ciencia, tienen los profesores, los alumnos y el público en general. Si bien *“La historia, filosofía y sociología de la ciencia no tienen todas las soluciones para esta crisis ... sí tienen algunas respuestas: pueden humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos; pueden hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; pueden contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos; pueden contribuir un poco a superar el «mar de sin sentidos» en que un comentarista dijo se habían engolfado las clases de ciencias, donde se recitaban fórmulas y ecuaciones pero donde pocos conocían su significado; pueden mejorar la formación del profesorado contribuyendo al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica, esto es, a un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las cosas”* (Matthews, 1994). En definitiva, esta visión contribuirá a predisponerlos de una forma crítica, abierta y constructiva, a adquirir actitudes favorables hacia la Ciencia, que superan las visiones más tópicas y erróneas que todavía circulan por nuestra sociedad.

Lo que queremos significar es que en la enseñanza habitual de las Ciencias se muestra una imagen deformada de las mismas, lo cual tiene como consecuencia que los profesores y los alumnos tengan una visión sesgada de la forma como se construyen y evolucionan los conceptos y las teorías científicas (Fernández et. al., 2002; Solbes y Traver, 1996).

Como consecuencia de lo planteado, podemos concluir que el modelo actual de enseñanza de la física presenta un enfoque cerrado, acabado, tergiversado, donde predomina una visión ahistórica y aproblemática y que presenta la actividad científica como una construcción acabada con conocimientos elaborados como productos donde su origen, su sentido y su validez se ignora para considerarlos atemporales.

Desarrollo

En la física, al igual que en las otras ciencias mal denominadas “duras”, el papel del libro de texto es, quizás, más importante que en otras ramas del conocimiento como las ciencias sociales, asignaturas en las cuales se puede acceder a otras fuentes de conocimiento. Entonces, si los libros de texto son casi la única fuente de conocimiento en la física y, en ellos se ignoran o sólo se utilizan de manera superficial, los aspectos históricos de la Ciencia, introduciendo tergiversaciones y errores históricos, se transmite una imagen de la Ciencia alejada de su realidad interna como proceso de construcción de conocimientos y desligada del contexto social en que ha nacido y se ha desarrollado a lo largo de los siglos.

Ahora bien, si los libros de texto de Física son la fuente principal de información de los actuales alumnos, que serán los profesores del mañana, es natural esperar que las tergiversaciones y errores que se cometen, por la falta de una perspectiva histórica, se sigan sucediendo. Para revertir esta situación sería necesario modificar la epistemología de los profesores (Bell y Pearson, 1992) e intentar reescribir los libros de texto incorporando en ellos la historia de la física o, al menos, algunos de sus aspectos.

Entonces, con los libros de texto actuales, no es de extrañar que alumnos y profesores tengan la misma visión ingenua de la física que el resto de la sociedad (Selley, 1989; Stinner, 1992). A la formación de esta idea colaboran, en forma indiscutible, los medios de comunicación masiva y la publicidad (Campanario, Moya y Otero, 2001).

Sostenemos que no puede existir ningún tipo de verdad fuera de la historia de la Ciencia y, por tanto, ninguna verdad que escape a las condiciones de la historia. Autores de la talla de

Thomas S. Kuhn o Imre Lakatos, por citar algunos, desde perspectivas distintas, así lo aseguran: la Ciencia es siempre Ciencia con y en la historia, nunca al margen de ella.

No insistiremos en la importancia que la historia de las ciencias tiene en su enseñanza porque no es el principal objetivo de este trabajo y porque, además, otros autores, mucho más cualificados ya lo han hecho (Gagliardi y Giordan, 1986; Tobon y Perea, 1985; Boido, 1985; De Aragón y Zamora, 1993; Mulhall, Massa, Marchisio y Sánchez, 1993; Gil, 1993; Zamorano, Dell'Oro, Vilanova y Cutrera, 1997; Toniuti y Gibbs, 1997; Solbes y Traver, 2003; entre otros), pero sí nos permitiremos insistir en que las visiones deformadas que en su trabajo nombran Fernández y otros (2002) pueden ser superadas mediante la introducción de la historia de la física a su enseñanza, citando ejemplos de la historia interna y externa de la Ciencia Física.

Para esto emplearemos una metodología sencilla: citaremos la visión deformada que los autores desarrollan y expondremos en cada caso dos ejemplos de la historia de la física como superadores de dicha visión.

Las visiones en cuestión son (Fernández et al., 2002):

- (a) Concepción empiroinductivista y ateórica
- (b) Una concepción rígida de la actividad científica
- (c) Una concepción aproblemática y ahistórica de la ciencia
- (d) Una concepción exclusivamente analítica
- (e) Una concepción meramente acumulativa del desarrollo científico
- (f) Una concepción individualista y elitista de la ciencia
- (g) Una visión descontextualizada, socialmente neutra de la actividad científica

Concepción empiroinductivista y ateórica

Esta concepción “*resalta el papel de la observación y de la experimentación «neutras» (no contaminadas por ideas apriorísticas), e incluso del puro azar, olvidando el papel esencial de las hipótesis como focalizadoras de la investigación y de los cuerpos coherentes de conocimientos (teorías) disponibles, que orientan todo el proceso*” (Fernández et al., 2002).

Con un simple examen a la historia de la física, podemos asegurar que esta visión es la que menos se ajusta a la realidad. Esta imagen nos transmite la idea de que los conocimientos científicos se forman por inducción, mediante la aplicación de un método científico infalible y a partir de datos teóricamente neutros, sacados de la observación y la experimentación más estrictamente empirista. Se ignora el proceso de la formulación de respuestas de carácter transitorio a manera de hipótesis que, a lo largo del tiempo, van sufriendo modificaciones o son sustituidas por otras hipótesis más válidas y más generales. También se ignora el hecho incontrastable de que, además de una observación atenta y paciente, el científico construye, previamente, una representación idealizada del fenómeno que estudia (Matthews, 1990).

Esta visión netamente empirista se ve reforzada por el erróneo concepto de que el único criterio de validación que permite aceptar o rechazar una teoría, es el valor de los resultados de los experimentos, ignorando completamente los importantes factores de tipo social, económico, cultural y político que, indudablemente, contribuyen a crear un consenso en Comunidad Científica.

En realidad, los datos que sirven para la comprobación empírica de una teoría no son hechos puros, sino que a su vez están cargados de teoría, no existe la observación pura. En otras

palabras, la observación siempre está guiada por expectativas teóricas: no somos una *tabula rasa* sino una *tabula plena*, una pizarra llena de tradición y evolución. Según Popper, la mente carente de juicios previos no es una mente pura, sino una mente vacía: “la observación pura, la observación carente de un componente teórico, no existe. Todas las observaciones, y en especial todas las observaciones experimentales, son observaciones de hechos realizados a la luz de esta o de aquella teoría” (Popper, 1977).

El investigador es un hombre y, como tal, tiene una historia que no puede ser soslayada durante la investigación. Por ello, no puede existir el observador neutral y, por ende, no hay tampoco neutralidad en los hechos observacionales. El científico observa sólo lo que su teoría le muestra como significativo.

Los científicos, en general, sabían dónde observar cuando realizaron sus descubrimientos. Como escribe Claude Bernard: “El experimentador que no sabe lo que está buscando, no comprenderá lo que encuentra”.

Como ejemplos históricos citaremos los siguientes:

- 1) El 7 de enero de 1610, Galileo Galilei, observó por primera vez cuatro satélites de Júpiter, con su telescopio casero de cincuenta aumentos (*perspicillum*). Bautizó a estas lunas como los Planetas Mediceos, en honor a sus mecenas, los Médici. En marzo de 1610, publicó *Sidereus Nuncius* (*El Mensajero Sideral*) en donde ponía de manifiesto este descubrimiento junto con el de que la Luna tenía montañas, valles y cráteres y con el de las manchas solares. Este opúsculo fue una puñalada al corazón de la física aristotélica, que había sido aceptada por los filósofos y teólogos de la Edad Media y se había constituido, en la época de Galileo, en la referencia obligada de astrónomos y científicos.

En efecto, el descubrimiento de los satélites de Júpiter indicaba que no todos los astros giraban en torno a la Tierra; había por lo menos cuatro de ellos que desobedecían a Aristóteles. El hecho de la no uniformidad de la superficie lunar y de las manchas solares estaban indicando que los astros que se situaban más allá de la esfera de la Luna no eran esferas perfectas: la tesis aristotélica de la perfección de los astros celestes debía quedar descartada.

¿Fue casual que Galileo quisiera mirar a los astros e hiciera estos descubrimientos? Por supuesto que no. Él conocía perfectamente bien la física aristotélica y se dio cuenta muy rápido de sus incongruencias. Ya en 1592, estando en Pisa, escribió su primera obra “antiaristotélica”: *De Motu*. En ella hacía una aguda crítica a la dinámica de Aristóteles basada en la teoría del *ímpetus*. Si bien gran parte de esta obra fue incorporada a su último libro, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche, Intorno a Due Nuove Scienze* (*Discurso y Demostración Matemática, en Torno a Dos Nuevas Ciencias*, 1638), *De Motu* no fue publicado hasta 300 años después de su concepción.

En 1597, en una carta que le escribió a Kepler para agradecerle el envío de una copia del ejemplar del *Prodomus Dissertationum Cosmographicarum*, Galileo escribe: “yo me he interesado en Copérnico desde hace varios años y he deducido también fenómenos naturales, todos inexplicables sobre hipótesis comunes” (Prada Márques, 2002).

En definitiva, Galileo sabía donde apuntar su *perspicillum*, sabía lo que tenía que hacer antes de sus observaciones y lo hizo; sabía dónde tenía que buscar y allí observó. Era plenamente consciente de lo que estaba haciendo y también comprendía lo que buscaba.

- 2) En 1821, el astrónomo francés Alexis Bouvard publicó en sus tablas astronómicas en las que se incluían observaciones de la órbita de Urano, planeta éste que había sido descubierto el 13 de marzo de 1781 por el astrónomo germanobritánico, Sir William Herschel. Estas observaciones revelaban sustanciales perturbaciones en la órbita de Urano, las cuales estaban en discordancia con la Teoría Gravitacional de Newton.

Muchos científicos (en realidad, no tantos) pensaron que la Teoría fallaba, otros, en cambio, otorgaron a Newton su total confianza e idearon hipótesis *ad hoc* para salvar las “apariencias”. Las hipótesis *ad hoc* para explicar el “anómalo” comportamiento de Urano fueron variadas, entre ellas hubo quienes afirmaban que Urano tenía algún satélite muy masivo invisible para los telescopios de época o que habría sido impactado por un cometa. Fue el propio Bouvard el que lanzó la hipótesis de que la órbita de Urano estaba siendo perturbada por la gravedad de otro planeta desconocido más alejado de la Tierra. Muy pronto, esta idea se generalizó, a tal extremo que, en 1842, la Academia de Ciencias de Göttingen ofreció un premio a quien encontrara la solución del problema del movimiento de Urano.

En 1845, el matemático francés, especializado en mecánica celeste, Urbain Jean Joseph Le Verrier, se hallaba en el Observatorio de París, estudiando la estabilidad del Sistema Solar cuando recibió la visita de François Arago, director del Observatorio. Arago le comentó a Le Verrier el problema de la órbita de Urano y del premio que la Academia de Ciencias de Göttingen había instituido para el que lo solucionase. Le Verrier se puso a trabajar en el problema y en junio de 1846 ya había calculado la posición del nuevo planeta. El 18 de septiembre de ese año, Le Verrier le envió sus cálculos al astrónomo alemán Johann Gottfried Galle, quien recibió el escrito el 23 de septiembre. Esa misma noche se puso a escudriñar los cielos y, con un telescopio refractor construido por Joseph Fraunhofer, localizó el planeta a menos de un grado de la posición calculada por Le Verrier.

El descubrimiento de este nuevo planeta, que por el momento no tenía nombre, pero que pronto se bautizaría como Neptuno, inflamó el orgullo nacionalista de Francia. Sin embargo, este orgullo recibiría un pequeño toque de desencanto al trascender la noticia que un matemático y astrónomo inglés había predicho la posición de Neptuno un año antes.

El brillante y, en ese tiempo, joven, matemático inglés John Couch Adams, luego de graduarse en Cambridge con honores y aprovechando una largas vacaciones, se puso a resolver el problema de la órbita de Urano. En octubre de 1843, Adams encontró la solución y, en febrero de 1844 le escribió al Astrónomo Real (director del observatorio de Greenwich), Georg Biddell Airy, quien, a su vez, le solicitó más datos sobre su descubrimiento. En realidad y debido a su corta edad (Adams tenía 26 años), Airy le prestó muy poca atención al escrito y muy probablemente no lo hubiera leído, si éste no hubiera ido acompañado por una carta de recomendación de James Challis, titular del la prestigiosa Cátedra Plumiana en la Universidad de Cambridge, quien había sido profesor de Adams.

En septiembre de 1845, Adams intentó entrevistar con Airy para entregarle los datos que había solicitado, pero, no pudo hacerlo y le dejó su escrito. Sin embargo, Airy consideró que la búsqueda de un planeta desconocido no era una tarea digna para el real Observatorio de Greenwich y le sugirió a Challis que realizara este trabajo en Cambridge. En ese mismo tiempo, John Herschel instó a Challis a comprobar el enfoque matemático de Adams. Sin mucho entusiasmo, Challis se tomó el trabajo con mucha calma y recién comenzó sus observaciones un julio de 1846.

Pero, como ya sabemos, Galle descubrió Neptuno poco después utilizando los cálculos de Le Verrier. En 1847, la Royal Astronomical Society de Inglaterra condecoró a Le Verrier. El desencanto de Adams no tenía límites. Sin embargo, en un acto de entera justicia, Adams, quien llegaría en 1861 a ser director del Observatorio de Cambridge, recibió la misma condecoración.

Como datos curiosos podemos mencionar que Challis se dio cuenta, luego del descubrimiento de Galle, que había visto a Neptuno ¡¡¡dos veces!!! en agosto de 1846 y no lo había advertido. Pero, al parecer, el primero en observar Neptuno fue el gran Galileo Galilei, el 28 de diciembre de 1612 y volvió a observarlo el 27 de enero de 1613. El Gran Pisano confundió a Neptuno con una estrella cercana a Júpiter.

Lo que queremos significar con esta historia es que, si bien el descubrimiento de Urano, el primer planeta descubierto mediante un telescopio, fue fortuito, accidental y hasta sorpresivo (su descubridor no sabía si catalogarlo como planeta o como cometa, nadie esperaba encontrar un planeta más allá de Saturno puesto que en el universo kepleriano sólo tenían cabida seis planetas), el descubrimiento de Neptuno se efectuó siguiendo predicciones realizadas por cálculos matemáticos en base a una teoría. Como se suele decir, Le Verrier y Adams son los primeros hombres que descubrieron un planeta con un lápiz.

Una concepción rígida de la actividad científica

“Una segunda deformación ampliamente recogida en la literatura es la que transmite una visión rígida (algorítmica, exacta, infalible...) de la actividad científica. Se presenta el «método científico» como un conjunto de etapas a seguir mecánicamente. Se resalta, por otra parte, lo que supone tratamiento cuantitativo, control riguroso, etc., olvidando —o, incluso, rechazando— todo lo que significa invención, creatividad, duda...” (Fernández et. al., 2002).

La historia de la física desmitifica por su propia lectura esta visión. Einstein, cuya principal virtud era, quizás, la intuición, ideó una Teoría Gravitacional que rige el movimiento de los astros sin dirigir ni una sola mirada al cielo. Muchas de las ideas de Newton no eran propias, pero tuvo la suficiente creatividad como para poder sistematizarlas. Precisamente, la creatividad es una de las características principales de la Teoría de los Torbellinos de Descartes. No se puede negar la creatividad y la intuición de los presocráticos. En definitiva, nos enrolamos en el pensamiento de Henri Poincaré: *“Probamos por medio de la lógica, pero descubrimos por medio de la intuición”* y del propio Einstein: *“La única cosa realmente valiosa es la intuición ... En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento”*.

Con respecto al método científico podemos decir que existen corrientes filosóficas que apoyan a rajatabla la utilización de un método común a todos los científicos, como el Empirismo Lógico, hasta los que niegan totalmente, como Feyerabend, que se le pueda prescribir al científico ningún método, simplemente porque este supuesto método no existe. Entonces, desde el método inductivo de Carnap o Hempel hasta el anarquismo epistemológico de Feyerabend, como extremos, podemos mencionar el método hipotético-deductivo de Popper y el método intrínseco a la Ciencia de Kuhn o Lakatos, como medios.

Ahora bien, si caracterizamos al método científico como aquellas prácticas que la Comunidad Científica utiliza y ratifica como válidas para exponer y confirmar sus teorías, podemos acotar que, en realidad, no existe “el” método científico, ya que no hay un único procedimiento al que los investigadores se hayan apegado en la historia de la física. Esta es, sin dudas, una mala noticia para los empiristas lógicos.

Resulta evidente, a la luz de lo expuesto, que es muy difícil definir cuál es el método que deben seguir los científicos para validar sus teorías. Y la historia de la física, así lo demuestra: el método científico utilizado por Galileo o Newton, discrepa muchísimo con el utilizado por Einstein y está mucho más alejado aún de los métodos de la Mecánica Cuántica.

Podemos definir a una ley científica como aquella que expresa una regularidad en todo tiempo y en todo lugar y que, además, debe explicar lo que se ha observado, integrarse dentro de un sistema, es decir, correlacionarse con otras leyes e hipótesis dentro del corpus investigativo y predecir nuevas observaciones.

El primer estadio de una ley científica es la ley empírica. Una ley empírica se refiere a un número infinito o casi infinito de casos y menciona solamente cantidades observables. Por otra parte, el segundo estadio de una ley científica es la ley teórica la cual, obviamente, también se refiere a un número infinito o casi infinito de casos pero describe cantidades o entidades no observables.

Existen diversas formas de llegar a la formulación de una ley empírica según la corriente filosófica de que se trate. Sin embargo, todos los epistemólogos coinciden que para el paso de una ley empírica a una ley teórica se necesita de un salto creativo por parte del científico. Esto es, el científico debe aplicar acá su creatividad, su imaginación.

Al no tener ninguna teoría física la rigidez de la que habla esta falsa visión y al no haber un método científico que sigan a rajatabla todos los investigadores, la Ciencia debe reconocer que necesita de la imaginación de su comunidad científica y que sus científicos, aún los más encumbrados, se equivocan.

Daremos dos ejemplos históricos de lo que afirmamos:

- 1) Si hemos de creerle al propio Newton, sus trabajos más importantes fueron concebidos entre 1663 y 1668. En esa época fue cuando, apoyándose en los trabajos de Galileo, descubrió su Primer Principio de la Mecánica: la Ley de Inercia, esto es, la tendencia de todo cuerpo a permanecer en el estado en el cual se encuentra a no ser que sobre él actúe una fuerza.

En otras palabras, si un cuerpo se está moviéndose en línea recta seguirá haciéndolo a menos que alguna fuerza influencie su movimiento. La Luna, razonó Newton, no se mueve en línea recta porque existe una fuerza que la “tira” constantemente hacia la Tierra. Así concluyó que esta fuerza que aparta a la Luna y a todos los planetas del movimiento inercial, de una trayectoria rectilínea y uniforme, es una fuerza que actúa a distancia: la gravedad. Sin embargo, si bien Newton nunca pensó que esta fuerza podría ser tangencial a la trayectoria del cuerpo celeste, como si empujara al astro a través de su eclipse, si especuló con que esta fuerza era centrífuga, es decir, que era una fuerza que tendía a “empujar” hacia afuera. Luego de una correspondencia con Hooke, Newton cambió su parecer y afirmó que la fuerza gravitatoria tenía una tendencia de “empujar” hacia adentro y la denominó centrípeta.

- 2) En 1917, Albert Einstein presentó su Teoría de la Relatividad General, en la cual consideraba a la gravedad como una deformación del espacio-tiempo cuatridimensional. A partir de esta teoría se acabaron las especulaciones: la Cosmología sería científica o no sería nada.

La resolución de las complicadas ecuaciones resultantes indicaba claramente que el Universo no era estático, sino que debía expandirse o contraerse. Sin embargo, en 1917, el propio Einstein propuso un modelo de Universo estático, introduciendo para ello su legendaria constante cosmológica, una especie de “fuerza antigravitatoria” con

la que lograba el equilibrio. De esta forma, el genio alemán desaprovechó la oportunidad de ser el primero en predecir la expansión del Universo, lo que él mismo calificaría luego como “*la mayor metedura de pata*” de su vida.

El que no perdió esa oportunidad fue el sacerdote jesuita belga Georges Lemaître. En efecto, en 1927, dio una solución a la ecuación de Einstein y, a la vez, introdujo la idea del *núcleo primordial*. Su razonamiento fue el siguiente: si las galaxias que pueblan el Universo se están alejando unas de otras, en el pasado debieron estar más cerca, ya que el Universo debió ser más pequeño, y más atrás, más pequeño aún. Extrapolando hacia atrás en el tiempo, llegaría un momento en que el espacio debía ser un punto y, por lo tanto, la densidad de materia, en ese instante, debía ser infinita (si es que esto significa algo). A este estado único de densidad infinita lo llamó singularidad cosmológica: era la carta magna de la teoría del Big Bang. Ese mismo año, Lemaître buscó a Einstein en la Quinta Conferencia Solvay de Bruselas a fin de defender sus ideas, pero Einstein estuvo brusco y seco: “*sus cálculos son correctos, pero su visión física es abominable*”, le dijo. El padre de la Relatividad se había equivocado de nuevo.

Una concepción aproblemática y ahistórica de la ciencia

“Podemos mencionar la *visión aproblemática y ahistórica (ergo dogmática y cerrada)*: se transmiten conocimientos ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas que generaron su construcción, cuál ha sido su evolución, las dificultades, etc., ni mucho menos aún, las limitaciones del conocimiento científico actual o las perspectivas abiertas”. (Fernández et. al., 2002).

Los autores afirman que esta visión se refuerza por omisión y nosotros agregamos que también se refuerza por un carácter transitivo. En efecto, el papel del libro de texto en Física es mucho más importante que en otras disciplinas, a tal punto de ser los “*vehículos pedagógicos para la perpetuación de la ciencia normal*” (Kuhn, 2004). De esta forma, el profesorado presenta, también, una imagen de la Ciencia y del trabajo científico que no reconoce como se han construido y cómo han evolucionado los conceptos científicos; se enseña una física totalmente desconectada de las complejas relaciones con la Sociedad y con los avances de la Tecnología, instituciones que, en cada momento histórico, han influido decisivamente en la evolución de los conocimientos científicos, distorsionando, en definitiva, la realidad histórica con tergiversaciones y errores. Como consecuencia, los alumnos no conocerán el papel real que ha jugado la física en la historia de la Humanidad, ni tampoco la manera cómo se han construido las principales teorías, las complejas motivaciones y los problemas que les han dado origen y las repercusiones sociales que han tenido las diversas contribuciones científicas. Si, a la forma de enseñar del profesorado se le agrega la imagen aproblemática y ahistórica que también muestran los libros de texto, los alumnos de hoy, que serán los profesores del mañana, seguirán enseñando una física sin historia.

Otro de los motivos que contribuyen al establecimiento de esta visión deformada, es la utilización, a veces abusiva, del inductivismo como guía en muchos de los temas tratados. Esto se reconoce en los modelos que tergiversan el papel de los experimentos en la investigación científica, debido a que generalmente ignoran los problemas que generaron esos experimentos, ignorando que “*todo conocimiento es la respuesta a una cuestión*” (Bachelard, 1938).

Conociendo la historia de la física se puede contextualizar los períodos en los que los científicos actuaron y en ella se ve claramente, que todos trabajaron en función de los problemas que les tocó vivir en su época.

Podemos citar, entre muchos otros, estos dos ejemplos:

- 1) La teoría con la cual explicamos la presión atmosférica fue enunciada por Evangelista Torricelli en 1643 y fue la respuesta a un problema concreto y acuciante de la época.

Desde muy antiguo, los filósofos griegos, llamados físicos, habían implantado la doctrina del *horror vacui*, del horror al vacío. Esta teoría sostenía que no podían existir espacios vacíos ya que se creía que la Naturaleza aborrecía al vacío. A tal punto esto era cierto que, si por un momento, se vaciaba un espacio en un tubo vertical con un extremo sumergido en agua, una fuerza absorbente tiraría del líquido para rellenar ese espacio.

El desarrollo de la minería durante el Renacimiento, llevó a la necesidad de extraer minerales de yacimientos cada vez más profundos, que se veían inundados corrientemente. Las bombas aspirantes-impelentes utilizadas para desagotarlos no podían elevar el agua a una altura mayor que 18 varas (lo que equivale a 32 pies, algo más de 10 metros).

Los mineros italianos consultaron al gran Galileo sobre el particular, y éste determinó que el horror de la Naturaleza al vacío no era ilimitado, sino que se circunscribía a una fuerza equivalente al peso de 32 pies de agua, denominado a esta altura *altezza limitatissima*. A esa altura, la columna de agua se rompe por su propio peso, al igual que una larga varilla de metal. Pero, al parecer, ni el Gran Pisano estaba conforme con su propia explicación, por lo que le encomendó la solución de esta cuestión a su discípulo, Evangelista Torricelli.

Torricelli hizo dos suposiciones. La primera de ellas era que el aire es un fluido que obedece a las leyes de la estática de los líquidos y la segunda es que la Tierra está rodeada por una capa de aire, o, como él mismo decía, “*Vivimos sumergidos en un mar de aire elemental*”. Con esto razonó que el líquido debía ascender por el tubo no porque el pistón absorbía el agua, como creían los aristotélicos, sino porque desalojaba el aire y, de esta forma, liberaba el agua que subía por el empuje de la presión atmosférica que actuaba sobre la superficie libre del líquido.

Entonces, según esta teoría vivimos en el interior de un gigantesco mar de aire que rodea a la Tierra y, éste, como cualquier otro fluido, posee masa, de modo tal que un determinado volumen de aire tienen un peso que es capaz de ejercer una fuerza sobre los objetos que se encuentran sumergidos en él. De esta forma, explicó, el agua dentro del tubo no es absorbida por el vacío, sino que sube porque la atmósfera la empuja desde el otro extremo. El límite de altura existe porque la presión atmosférica se equilibra por la presión de una columna de alrededor de 10 metros de agua. Pero como buen físico que era no sólo enunció la teoría sino que ideó el experimento para comprobarla. La experiencia con el tubo y la cubeta con mercurio es muy conocida. Solamente nos gustaría agregar que el experimento, en realidad, fue realizado por su colega, amigo y también discípulo de Galileo, Vincenzo Viviani, estando Torricelli presente.

- 2) El desarrollo de la Termodinámica tuvo un progreso espectacular durante el siglo XVII, fundamentalmente como respuesta al creciente industrialismo de esa época. En 1698, el inventor y herrero inglés Thomas Newcomen, inventó la primera máquina de vapor, aplicada originalmente en el drenaje de las minas. Cuando en 1773, expiró la patente de la invención, Newcomen y su socio, Thomas Savery, habían fabricado más de 100 bombas de este tipo y habían amasado una más que considerable fortuna. Por ello, se cita a Newcomen como el padre de la Revolución Industrial.

Sin embargo, la máquina de Newcomen no era muy eficiente por lo que el ingeniero inglés John Smeaton, en 1769, realizó sustanciales mejoras en ella. Pero fue el ingeniero y científico escocés James Watt el que introdujo revolucionarias innovaciones a la máquina de Newcomen. Además, se preocupó por establecer una unidad adecuada para poder medir la potencia. Así definió el *horse power* (*caballo de potencia*), como la potencia equivalente de un caballo que, siguiendo el mismo ritmo por un cierto tiempo, levanta un peso de 76 kg hasta una altura de 1 metro en un segundo. La unidad de potencia en el Sistema Internacional se llama Watt en su honor.

A partir de acá, los usos de la máquina de vapor se multiplicaron vertiginosamente. Además de servir en las minas y en las fábricas, en 1807, Robert Fulton instaló una máquina de vapor en un barco, el *Clermont*, que cumplía un servicio pluvial navegando por el río Hudson. En 1819, el buque de vapor norteamericano *Savannah* realizó el primer viaje trasatlántico. El primer barco de vapor inglés, el *Britania*, entró en servicio en 1840 y desarrollaba una velocidad de 14 km/h.

La era del ferrocarril se inició cuando George Stephenson logró instalar una máquina de vapor sobre un vehículo. En 1814, el vehículo preparado por Stephenson logró arrastrar una carga de treinta toneladas a una velocidad de 6 km/h. En 1829, la locomotora bautizada como *Rocket* (*Cobete*) recorrió 19 kilómetros en 53 minutos (21,5 km/h), lo que constituyó una verdadero récord para la época.

Una concepción exclusivamente analítica

Se trata de “una visión exclusivamente analítica, que resalta la necesaria parcelación inicial de los estudios, su carácter acotado, simplificador, pero que olvida los esfuerzos posteriores de unificación y de construcción de cuerpos coherentes de conocimientos cada vez más amplios o el tratamiento de problemas «puente» entre distintos campos de conocimiento que pueden llegar a unirse, como ha ocurrido tantas veces” (Fernández et al., 2002).

Otra vez, la historia de la física nos da excelentes argumentos para rebatir esta visión deformada. En efecto, en toda su historia, la física ha ido ganando prestigio y progresando merced a las unificaciones: las teorías de Kepler y Galileo fueron unificadas y superadas por la de Newton; las teorías de Fresnel y Faraday, unificadas y superadas por la de Maxwell; la Teoría de la Relatividad de Einstein unificó y superó a la Mecánica de Newton y al Electromagnetismo de Maxwell. En la actualidad, todos los esfuerzos teóricos y experimentales están encaminados a la unificación de las cuatro fuerzas que actúan en la Naturaleza (gravitatoria, electromagnética, nuclear débil y nuclear fuerte) en una Teoría del Todo, unificación de la aún hipotética teoría de la Gran Unificación (no tan hipotética desde el descubrimiento del bosón de Higgs) y de la Gravedad.

Como ejemplos ilustrativos, citaremos:

- 1) *"Después de comer, como hacía calor, nos encaminamos al jardín con el propósito de tomar el té a la sombra de unos manzanos, él y yo a solas. Al promediar nuestra charla, me dijo que se hallaba exactamente en la misma posición cuando, bastante tiempo atrás, se le había ocurrido la idea de la gravitación. La ocasión le había sido proporcionada por la caída de una manzana, mientras meditaba. ¿Por qué una manzana tenía que caer, siempre, perpendicularmente al suelo?, pensó para sí. ¿Por qué no se desliza lateralmente o hacia arriba, sino siempre hacia el centro de la Tierra? Ciertamente, el motivo consiste en que la Tierra la atrae. Debe de existir en la materia un poder de atracción; y la suma de tal poder debe de radicar en el centro de la Tierra, no en cualquier otra parte de ella. Por esto la manzana cae perpendicularmente, es decir hacia el centro. Si la materia atrae la materia, esto debe ocurrir proporcionalmente a su cantidad. Por ello la manzana atrae a la Tierra tal como la Tierra*

atrae a la manzana. ¿Existe por consiguiente una fuerza, como la que nosotros denominamos gravedad, que se extiende por todo el universo? ... En el mismo año comencé a pensar en la gravedad, extendiéndola a la órbita de la Luna y confronté la fuerza necesaria para mantener a la Luna en su órbita con la fuerza de gravedad existente en la Tierra, y observé que son aproximadamente iguales. Todo esto ocurrió en los dos años de la peste, 1665 y 1666, cuando me hallaba en la plenitud de mis capacidades intelectuales y me ocupaba de matemáticas y filosofía en mayor grado de lo que nunca volvería a hacerlo posteriormente" (Ríos Acevedo, 2008). Así relataba un anciano Newton, el 15 de abril de 1726, a su amigo William Stokeley, el famoso episodio de la manzana.

Newton intuyó, a partir de reflexiones relacionadas con la caída de la manzana y de sus estudios del movimiento de la Luna, que ambos movimientos estaban gobernados por la fuerza de atracción terrestre y, por lo tanto, deberían poder ser explicados por la misma teoría. Él mismo explica su hipótesis en el Libro III en sus legendarios *Principia* (1687): *"Si consideramos los movimientos de los proyectiles podremos entender fácilmente que los planetas pueden ser retenidos en ciertas órbitas mediante fuerzas centrípetas; pues una piedra proyectada se va apartando de su senda rectilínea por la presión de su propio peso y obligada a describir en el aire una curva, cuando en virtud de la sola proyección inicial habría debido continuar dicha senda recta, en vez de ser finalmente atraída al suelo; y cuanto mayor es la velocidad con la cual resulta ser proyectada más lejos llega, antes de caer a tierra. Podemos por eso suponer que la velocidad se incrementa hasta que la piedra describa un arco de 1, 2, 5, 10, 100, 1000 millas antes de caer, de forma que al final, superando los límites de la Tierra, pasará al espacio sin tocarla..."*

Por tanto, la manzana y la Luna están cayendo, la diferencia estriba en que mientras la caída de manzana es detenida por la Tierra, la Luna tiene un movimiento de caída permanente.

Luego extendió sus hipótesis al Sol: había nacido la Ley de Gravitación Universal. En su logro, quizás, más significativo, Newton había unificado la Mecánica Celeste con la Mecánica Terrestre.

La Ley de Gravitación Universal explicó un amplio conjunto de fenómenos aparentemente inconexos como:

- a) Revelar el significado físico de las Leyes de Kepler sobre el movimiento planetario.
- b) Resolver el intrincado problema del origen de las mareas.
- c) Explicar la observación de Galileo Galilei acerca de que el movimiento de un cuerpo en caída libre es independiente de su peso.
- d) Describir la trayectoria de los proyectiles.
- e) Explicar las órbitas excéntricas de los cometas.

Los éxitos de la teoría de Newton dieron paso a una visión mecanicista del mundo y fue el certificado de defunción del geocentrismo. Por ello, y por mucho más, consideramos plenamente justificadas las palabras del astrónomo inglés Edmund Halley, en el prefacio de los *Principia*: *"Vosotros, los que gozáis del néctar celeste, celebrad conmigo a quien tales cosas nos muestra. A Newton que abre el cerrado cofre de la verdad. A Newton, amado de las musas, en cuyo limpio pecho habita Febo, de cuya mente se apoderó con todo su Numen, pues no está permitido a un mortal tocar más de cerca a los dioses"* (Cohen, 1989).

- 2) Los filósofos griegos, hacia el año 600 a.C., sabían ya que al frotar un trozo de ámbar, éste atraía trocitos de paja. La palabra *electricidad* deriva, causalmente, del nombre con el que los griegos denominaban al ámbar: *electrón*. También sabían que ciertas piedras que se encuentran en la Naturaleza, que hoy día conocemos como mineral de magnetita,

atraían al hierro. A partir de estos modestos orígenes medraron las ciencias de la electricidad y del magnetismo. Los fenómenos eléctricos y magnéticos fueron considerados como independientes y sus teorías se desarrollaron en forma separada durante siglos; de hecho, hasta 1820.

El 20 de julio de ese año, el físico danés Hans Cristian Oersted, se hallaba preparando una clase para sus alumnos de la Universidad de Copenhague y notó que cuando conectaba el circuito eléctrico con el que estaba trabajando, una brújula, que ocasionalmente se encontraba allí, dejaba de apuntar al norte y apuntaba hacia el circuito. Por primera vez en la historia se hallaba una comprobación empírica del vínculo entre la electricidad y el magnetismo; este hecho, casi fortuito, puede considerarse como el nacimiento del Electromagnetismo. A partir de aquí los acontecimientos se precipitan. En 1821, el físico francés André-Marie Ampere, logró explicar el fenómeno mediante la Ley que hoy lleva su nombre. En 1827, el físico alemán Georg Simon Ohm, enuncia su Ley sobre la linealidad entre el voltaje y la intensidad de corriente. Entre 1831 y 1845, el físico inglés Michael Faraday y el estadounidense Joseph Henry, descubrieron, en forma independiente, la inducción electromagnética. Alrededor de la década del 40 del siglo XIX, el gran matemático y físico alemán Karl Friedrich Gauss, enunció sus leyes sobre la electricidad y sobre el magnetismo.

El físico escocés James Clerk Maxwell tomó las leyes de Ampere (la cual completó), la de Faraday y las dos de Gauss y las declaró como las ecuaciones básicas del Electromagnetismo. Su teoría fue expuesta en un extenso *Tratado de la Electricidad y el Magnetismo*, publicado en 1873, seis años antes de su muerte.

La teoría de Maxwell no solamente tiene el mérito de unificar la electricidad y el magnetismo, sino que además predice la existencia de las ondas electromagnéticas, con lo cual también queda incorporada la óptica como parte integrante de la teoría.

Una concepción meramente acumulativa del desarrollo científico

Se transmite una “*visión acumulativa, de crecimiento lineal de los conocimientos científicos: el desarrollo científico aparece como fruto de un crecimiento lineal, puramente acumulativo (Izquierdo, Sanmartí y Espinet, 1999), ignorando las crisis y las remodelaciones profundas, fruto de procesos complejos que no se dejan aborram por ningún modelo definido de cambio científico (Giere, 1998; Estany, 1990)*” (Fernández et. al., 2002).

Esta visión no contempla cómo los conocimientos científicos se han obtenido, ignora la existencia de crisis importantes en las teorías científicas y la constante puja entre teorías rivales, como así también la complejidad de los procesos que llevaron al establecimiento de diferentes maneras de trabajar.

La historia de la física nos enseña que el progreso científico se lleva a cabo mediante saltos cualitativos. Así lo aseguran importantes epistemólogos de la talla de Thomas Kuhn (2004) e Imre Lakatos (1989). Estos también afirman que el progreso de las ciencias se logra mediante una lucha entre paradigmas o programas de investigación rivales y que, cuanto antes comience la competencia entre éstos, más rápido será el progreso. Consideran a la Ciencia como un proceso sucesivo y en constante evolución.

Como en visiones anteriores, los que integramos el profesorado tenemos cierta responsabilidad en la formación de esta visión ya que, en la mayoría de los casos, no tomamos en cuenta cómo se han construido y cómo han evolucionado los conceptos científicos y enseñamos, de esta manera, una física totalmente desconectada de las complejas relaciones con la Sociedad y con los avances de la Tecnología.

Sin embargo, para rebatir esta imagen distorsionada basta con repasar lo ocurrido en la física del siglo XVI-XVII y del siglo XIX-XX, donde se produjeron verdaderas crisis del conocimiento al verificar que la Naturaleza no se comportaba del modo previsto. Para poder progresar hizo falta un salto creativo llevado a cabo por uno o más hombres. La Comunidad Científica cambió de cosmovisión durante estas Revoluciones. Nos estamos refiriendo específicamente a la Revolución Newtoniana y a la llevada a cabo por la física relativística y la física cuántica. Desarrollemos los siguientes ejemplos:

- 1) Entre 1629 y 1633, el filósofo, matemático y físico francés René Descartes trabajó preparando un enorme tratado en el que iba a exponer todas sus ideas sobre física. La obra se titularía *Le Monde, ou Traité de la Lumière* (*El mundo, o Tratado sobre la Luz*). Cuando estaba lista para ser publicada, llegó a Holanda la noticia del juicio y la condena a Galileo. Como en el libro se apoyaban las ideas copernicanas, Descartes detuvo la edición y *Le Monde* nunca vio la luz, aunque su autor utilizó gran parte de su contenido como base para algunas de sus obras posteriores.

En 1644, publicó su obra física más importante: *Principia Philosophiae* (*Principios de Filosofía*). En él, Descartes investigaba la naturaleza del mundo material y hacía la interpretación correcta de la inercia. Además, planteaba su famosa Teoría de los Vórtices, en la cual afirmaba que existía un fluido universal invisible que se extendía más allá de la atmósfera y a través de todo el Universo, de tal forma que no había vacío en ninguna parte. Este fluido giraría formando enormes torbellinos o vórtices celestes produciendo efectos de movimiento circular, concepto que sería bautizado por el físico holandés Christiaan Huygens como fuerza centrífuga. Entonces, en este modelo, los planetas son arrastrados por vórtices turbulentos, como unas virutas de madera arrastradas por los remolinos de una corriente: el Sol sería el centro de uno de esos vórtices, los planetas serían centros de otros vórtices más pequeños.

Cuarenta y tres años después vería la luz la obra más importante en la historia de la Ciencia: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principios Matemáticos de Filosofía Natural*).

Como hemos mencionado, el Libro III de esta obra, Sir Isaac Newton enunciaba su Teoría de la Gravitación Universal, pero en ella, la causa de que los planetas se movieran en la forma en que lo hacían no eran los complicados vórtices cartesianos, sino una fuerza atractiva, centrípeta, que actuaba de manera axial y que disminuía con el cuadrado de la distancia.

La historia de la física no puede soslayar que estas dos teorías entraron en puja y, cada una, como resulta lógico, tuvo sus adeptos y sus detractores. Es más, en un gesto típicamente newtoniano, el Gran Mecanicista tituló a su obra como una forma de expresar una mejora de la de Descartes: éste había escrito unos *Principia Philosophiae*, pero Newton daba un paso adelante creando unos *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

El mecanismo de elección entre teorías rivales ha sido descrito, con mucha más autoridad que la nuestra, por eminentes epistemólogos (Kuhn, 2004; Lakatos, 1989; Popper, 1977) y tampoco es objeto del presente trabajo, sin embargo, debemos recalcar que sí hubo confrontación entre dos teorías y la Comunidad Científica eligió la de Newton.

- 2) En septiembre de 1905 en el volumen 17, página 891 de la revista *Annalen der Physik*, un oscuro empleado en la Oficina de Patentes de Berna publicaba un artículo al que denominó *Sobre la Electrodinámica de los Cuerpos en Movimiento*. En este artículo, Albert

Einstein (ni falta hace decir que hablábamos de él) enuncia los principios básicos de su Teoría Especial de la Relatividad, estudiando el movimiento de los cuerpos y el Electromagnetismo en ausencia de la fuerza de gravedad.

En 1907, propuso que, si la masa era equivalente a la energía, entonces la masa gravitacional debe ser idéntica a la masa inercial. Esta identidad, que está implícita en el trabajo de Isaac Newton, fue elevada por Einstein a la categoría de Principio. Fue este Principio de Equivalencia el que le condujo, en 1916, a elaborar la Teoría General de la Relatividad.

Existió una crisis en la mecánica newtoniana y “apareció” la Relatividad produciendo un verdadero cambio conceptual. Se produce, en términos kuhnianos, una *inconmensurabilidad de cosmovisión*, es decir, los científicos defensores de paradigmas en competencia, practican sus profesiones en mundos diferentes, “*al practicar sus profesiones en mundos diferentes, los dos grupos de científicos ven cosas diferentes cuando miran en la misma dirección desde el mismo punto*” (Kuhn, 2004). También existe una clara inconmensurabilidad en las normas, en el vocabulario y en los instrumentos: “*ya que las leyes que rigen a una y otra tienen distinta significación: La Ley de Gravitación Universal de Newton señala como responsable de la Gravedad a una fuerza central atractiva que responde a la ley del inverso del cuadrado de la distancia, mientras que para Einstein, la responsable de la Gravedad es una deformación del espacio-tiempo. En la física relativística, el concepto de fuerza es inexistente, no tiene significado físico*” (Chade Vergara, 2010).

Algo similar ocurrió con la postulación de la física cuántica. Esta teoría cambia el punto de vista de los científicos ya que afirma que la Naturaleza es intrínsecamente probabilística, socavando, inclusive, la muralla más fuerte de la física clásica: el Principio de Causalidad.

Una concepción individualista y elitista de la ciencia

Esta concepción nos transmite “*una visión individualista y elitista de la ciencia. Los conocimientos científicos aparecen como obra de genios aislados, ignorándose el papel del trabajo colectivo, de los intercambios entre equipos... En particular se deja creer que los resultados obtenidos por un sólo científico o equipo pueden bastar para verificar o falsar una hipótesis o, incluso, toda una teoría*” (Fernández y otros, 2002). También transmite la visión que la Ciencia es un “*dominio reservado a minorías especialmente dotadas ... con claras discriminaciones de naturaleza social y de género ... escondiendo la significación de los conocimientos tras presentaciones exclusivamente operativistas*” (Fernández et. al., 2002).

Somos conscientes que los libros de texto son un factor muy importante en la transmisión de esta visión deformada ya que en muchos de ellos se pueden leer diversas anécdotas pseudo-históricas, algunas de las cuales han sido puestas seriamente en duda. Sin embargo, podemos afirmar que la historia de la física desmiente rotundamente esta concepción. Ella nos muestra que no es posible que un solo científico o equipo puedan verificar o refutar una hipótesis. El conocimiento científico es el resultado de los esfuerzos llevados a cabo, a través de los siglos, por hombres y mujeres, en su gran mayoría, preocupados por los problemas de su entorno social.

Quizás esta sea una de las deformaciones más extendidas y, en el imaginario popular, está asociada a las figuras de verdaderos genios como Aristóteles, Galileo, Newton y Einstein, por tomar los ejemplos más significativos de la física.

Sin embargo, si bien es cierto que Aristóteles aportó su idea del Movimiento Natural, conoció las ideas de casi todos sus antecesores criticando y adoptando, para su propia teoría, lo que

consideró útil. Así, por ejemplo, adoptó la doctrina de los cuatro elementos de Empédocles y la esfericidad de los astros y la circularidad de sus órbitas de Platón y otros.

Galileo Galilei recibió una indiscutible influencia de su maestro, Giambattista Benedetti, quien a su vez era discípulo de Niccolo Fontana (Tartaglia). Sus primeras ideas en contra de la doctrina Aristotélica las aprendió de ellos. Su último libro lo escribió en compañía de Viviani y Torricelli.

El mismo Isaac Newton reconoció que su Primera Ley del Movimiento, el Principio de Inercia, era obra de Galileo y nosotros agregamos, de Descartes. Todavía está en discusión la autoría de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia (Newton, Hooke, Halley, Wren), fundamental para el enunciado de la Ley de Gravitación Universal. El mismísimo Newton solía decir: *“Si he conseguido ver más lejos que otros es porque he conseguido subirme en hombros de gigantes”*.

Cuando enunció su Teoría de la Relatividad Restringida, es muy posible que Einstein no se basara para ello en el experimento de Michelson-Morley, pero sí conocía las ecuaciones de Lorentz y las ideas de Mach y Poincaré. Luego, para su Teoría de la Relatividad General, se basaría en la interpretación cuatridimensional del espacio de Minkowski, en los trabajos geométricos de Lovachevski y Riemann, en las ideas de Poincaré sobre la gravitación y, fundamentalmente, en los estudios de Hilbert.

Por otra parte, y sin hacer una encendida defensa feminista, el papel dedicado a las mujeres científicas, en la mayoría de los libros de texto, es prácticamente nulo. Sin agotar, ni mucho menos, la lista de mujeres que tuvieron un papel fundamental en el desarrollo de la física, es raro encontrar una referencia a, por ejemplo, Hipatia de Alejandría (370-416), quien es considerada como un ícono de la defensa de las Ciencias ante la irracionalidad religiosa; a Lise Meitner (1878-1968), quien trabajó y fue parte esencial del equipo que descubrió la fisión nuclear y en cuyo honor el elemento químico de número atómico 109 fue nombrado como meitnerio; a Marie-Sophie Germain (1776-1831), destacada por sus aportes a la teoría de la elasticidad; a Amalie Emmy Noether (1882-1935), quizás la mujer más importante en la historia de las matemáticas, quien con sus desarrollos de las teorías de anillos, grupos y campos contribuyó fundamentalmente en el progreso de la física teórica; a Susan Jocelyn Bell Burnell (1943-), quien investigando para su tesis descubrió la primera radioseñal de un púlsar; o a la más famosa de todas científicas de todos los tiempos, Marie Salomea Sklodowska Curie, Madame Curie, quien dedicó su vida al estudio de la radioactividad y fue la primera persona en recibir dos premios Nobel.

Tal vez, los motivos de estas omisiones y falta de reconocimiento sean los mismos que hicieron que el mérito del descubrimiento del equipo donde formaba parte Meitner fuera sólo para Otto Hahn o que el premio Nobel de física de 1974, se le otorgara a Antony Hewish, director de tesis de Bell.

Queda claro que, si bien pensamos que el progreso de una Ciencia se produce mediante saltos cualitativos, consideramos a los autores de estos saltos cualitativos como genios, si se quiere, pero no como indispensables. En general, cuando se narra la historia se describen los acontecimientos claves y se los refiere a las obras de los científicos que marcaron el hito. Nuestra idea es que nunca “una golondrina hace verano”. El progreso científico se construye con el aporte de todos, o casi todos, los científicos “normales”, si hemos de utilizar la terminología de Kuhn, y cuando llega el momento histórico oportuno, uno, dos o más científicos producen el salto cualitativo que da lugar a la Revolución Científica. Es, quizás, la suerte o tal vez un accidente histórico lo que decidirá cuál de ellos será recordado como

descubridor de un fenómeno y pasará con su nombre a la posteridad. Este punto de vista es compartido por historiadores de la Ciencia de la talla de John Gribbin (2006).

Resulta indudable que otro de los aspectos que coadyuva a una visión descontextualizada de la Ciencia es el excesivo formalismo matemático que podemos encontrar en la mayoría de libros de texto. Esto termina soslayando el verdadero objeto de la enseñanza-aprendizaje, como son los conceptos científicos subyacentes en esas complicadas ecuaciones que, en la mayoría de los casos, se ven reducidos a un puro operativismo sin sentido. Además, repetimos, hacer física no es resolver intrincadas ecuaciones matemáticas.

Al ser esta visión tan generalizada podríamos refutarla con una infinidad de ejemplos. Veamos los dos siguientes:

- 1) Mucho se puede discutir sobre la forma de selección y elección de los galardonados por el premio instituido por Alfred Nobel el 27 de noviembre de 1895. Lo que no se puede discutir el enorme prestigio que adquiere quien lo recibe.

Desde 1901, año en que se comenzó a entregar el premio, se han otorgado 110 premios Nobel en física; 64 de ellos han sido compartidos. Desde 1993 hasta 2012, todos los galardones en física tuvieron esta modalidad. Esto nos habla a las claras de la cooperación y del trabajo en equipo de los físicos. Es cierto que algunos de ellos trabajaron en forma independiente y hasta en países distintos (Schrödinger–Dirac). Es cierto que algunos de ellos fueron familiares como los esposos Pierre y Marie Curie (1903) o como el padre e hijo Sir William Henry Bragg y William Lawrence Bragg (1915), pero en su inmensa mayoría se trata de equipos de científicos que colaboran para lograr sus descubrimientos. Por ejemplo, el segundo premio Nobel, otorgado en 1902, fue para los físicos holandeses Hendrik Antoon Lorentz y Pieter Zeeman “*En reconocimiento al servicio extraordinario que han proporcionado con sus investigaciones sobre la influencia del magnetismo sobre los fenómenos de radiación*”. Esta pareja formó un verdadero tándem, una conjunción entre el físico teórico y el físico experimental.

- 2) Muchos piensan que la Teoría de la Relatividad General es una teoría matemática y que su autor, Albert Einstein, era un “gran matemático” porque la resolución de sus complicadas ecuaciones necesitan de una sofisticada formulación matemática para expresar la teoría. Sin embargo, cuando se refiere a los primeros trabajos de Einstein, no es raro oír decir que “Einstein no sabía Matemática”. En un escrito de 1920, Einstein nos aclara perfectamente que en primer lugar siempre está el concepto físico, el enfoque teórico del problema y que, luego, el resto es “*una tarea puramente matemática*”. En sus propias palabras: “*La forma matemática de la teoría es solamente un instrumento, y lo esencial es seguir de manera consistente el hilo de algunos principios simples a los que la experiencia física nos ha conducido*” (Paty, 2006). También Sir Arthur Eddington se refirió a este tema afirmando: “*La parte introductoria de una teoría es la más difícil, ahí, tenemos que usar constantemente el cerebro; después podemos usar las matemáticas*”.

Michael Faraday, según muchos el más grande físico experimental de todos los tiempos, se declaraba a sí mismo como un “analfabeto matemático”. Cuando tenía 76 años, le escribió a Maxwell lo siguiente: “*Me gustaría preguntarle una cosa. Cuando un matemático dedicado a la investigación de acciones y resultados físicos llega a sus conclusiones, ¿acaso no podría expresarlas en lenguaje cotidiano con la misma exactitud, claridad, y definición que le proporcionan las fórmulas matemáticas? Y si así fuera, ¿no sería una gran bendición para personas como yo que así lo hiciera? Si tradujera los jeroglíficos, nosotros también podríamos trabajar sobre sus conclusiones en forma experimental. Creo que debería ser así, pues usted siempre fue capaz de explicarme con perfecta claridad sus conclusiones y, a pesar de que no comprendo algunos de los pasos*

que lo llevaron a ellas, los resultados obtenidos no expresan, ni más ni menos, que la verdad y por su claridad me permiten reflexionar y trabajar sobre ellos. Si esto fuese posible, creo que sería magnífico que los matemáticos dedicados a estos temas nos proporcionaran los resultados en este formato popular, útil y manipulable, además de hacerlo en el que le es propio” (De Azcárraga, 2005).

Una visión descontextualizada, socialmente neutra de la actividad científica

Se trata de “una visión descontextualizada, socialmente neutra de la ciencia que ignora, o trata muy superficialmente, las complejas relaciones CTS, ciencia-tecnología-sociedad (o, mejor, CTSA, agregando la A de ambiente para llamar la atención sobre los graves problemas de degradación del medio que afectan a la totalidad del planeta) ... ignoran completamente la contextualización de la actividad científica, como si la ciencia fuera un producto elaborado en torres de marfil, al margen de las contingencias de la vida ordinaria y proporciona una imagen de los científicos como seres «por encima del bien y del mal», encerrados en torres de marfil y ajenos a las necesarias tomas de decisión” (Fernández et. al., 2002).

Al no tomar en cuenta las repercusiones sociales de las contribuciones de la Ciencia en diferentes momentos históricos, se esconde su influencia en la concepción del mundo, apareciendo, en consecuencia, la falacia de una ciencia neutral, sin ninguna ideología, que se dedica solamente a la producción de conocimientos puros, de forma objetiva e imparcial.

Sin embargo, la historia de la física, ilustra que ninguna Ciencia es neutral. Nace y se desarrolla al amparo y dentro de las sociedades que necesitan de ella y de las relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad, triángulo fundamental de retroalimentación constante. Si buscamos un ejemplo rápido, la mayoría de los historiadores de la Ciencia coincide en que, si Newton hubiera vivido en los tiempos de Galileo, no hubiera escrito absolutamente nada de física, por temor a la Inquisición.

La historia nos enseña que la Ciencia es una actividad humana y, en consecuencia, está realizada por hombres, por seres humanos que no pueden ni deben ser despojados de su contexto social, de sus creencias, de su religión, de sus ideas políticas ni de su status económico. Tal y como afirman Vázquez Alonso, A. y M. Manassero Mas (2012): “La subjetividad personal también es inevitable. Los valores personales, las prioridades y las experiencias anteriores dictan hacia dónde y cómo los científicos dirigen su trabajo. Además, la ciencia es un empeño humano y está influida por la sociedad y la cultura donde se desarrolla. Los valores de la cultura determinan el rumbo de la ciencia, cómo lo persigue, se interpreta, se acepta y se utiliza”. Sólo tomando en cuenta esto, podremos empezar a desmitificar la imagen de la Ciencia, y los grandes científicos se transformarán en lo que eran y en lo que son: personas de carne y hueso que tenían y tienen inteligencia e ingenio pero también obsesiones, dificultades, valores, creencias, problemas, enfrentamientos y, a veces, miedo.

“La Historia de las Ciencias, una Ciencia con Historia, servirá, entonces, para conocer cuál fue el contexto social, político y económico en el cual los científicos desarrollaron sus investigaciones y esto desvelará cuáles fueron las resistencias a la transformación, qué sectores trataron de impedir el cambio y qué sectores se beneficiaron con él” (Chade Vergara, 2010). La historia de la Ciencia será, en definitiva, una poderosa herramienta válida para averiguar qué es conocer y cómo se conoce. Sostenemos junto con Kröber (1986) que: “... entendemos la ciencia no sólo como un sistema de conceptos, proposiciones, teorías, hipótesis, etc., sino también, simultáneamente, como una forma específica de la actividad social dirigida a la producción, distribución y aplicación de los conocimientos acerca de las leyes objetivas de la naturaleza y la sociedad. Aún más, la ciencia se nos presenta como una institución social, como un sistema de organizaciones científicas, cuya estructura y desarrollo se encuentran estrechamente vinculados con la economía, la política, los fenómenos culturales, con las necesidades y las posibilidades de la sociedad dada”.

Si bien la historia de la física es una concatenación de ejemplos que pueden ilustrar este punto, citaremos estos dos para nuestra exposición:

- El desarrollo del Electromagnetismo tuvo un espectacular auge en las primeras décadas del siglo XIX. Como paradigma podemos citar al físico alemán Werner von Siemens quien en 1847, junto su primo, el banquero Johann Georg Siemens, y al mecánico Johann Georg Halske, fundaron la empresa *Siemens AG*. En 1841 habían desarrollado un proceso de galvanización y, en 1847, un nuevo tipo de telégrafo. Además perfeccionaron la dinamo, fueron pioneros en la construcción de líneas telegráficas transoceánicas, inventaron el telégrafo con puntero/teclado y la primera locomotora eléctrica. De más está decir que la empresa sobrevive en la actualidad: en el 2011 tenía más de 405.000 empleados. Nada mal para algo que empezó en VI a.C. con Tales de Mileto. Como dato anecdótico, podemos citar que cuando el ministro de Hacienda británico William Gladstone, interrogó a Faraday sobre la utilidad práctica de la energía eléctrica, este le respondió “*Sir, un día podrá usted gravarla con impuestos*”.
- Quizás el caso más emblemático para negar la neutralidad de la Ciencia, sea el de la construcción de la primera bomba atómica.

Esta triste historia comienza el 12 de septiembre de 1933 cuando el físico húngaro Leó Szilárd descubrió que, mediante reacciones neutrónicas en cadena, se podía liberar grandes cantidades de energía. El 4 de julio de 1934, Szilárd solicitó la patente de invención de una bomba atómica. Sus historiadores aseguran que la intención de Szilárd al patentar la bomba fue que otros la construyeran.

A partir de acá se inicia una carrera desenfrenada entre los aliados y los alemanes, para construir la primera bomba atómica. Estados Unidos acelera sus investigaciones luego de la carta que Einstein y otros prominentes físicos le envían al entonces presidente Franklin Roosevelt, y pone en marcha el proyecto Manhattan dirigido por Robert Oppenheimer. A las 08:15 del 6 de agosto de 1945, la bomba de fisión nuclear *Little Boy* explotó sobre Hiroshima. Se estima que más de 80.000 personas murieron instantáneamente. El discurso del presidente estadounidense Harry Truman, pronunciado dieciséis horas después del bombardeo, es, fue y será una vergüenza para la Humanidad.

Conclusiones

La ausencia de una perspectiva histórica en la enseñanza de la Ciencia, en general, y de la física, en particular, ha generado una percepción global distorsionada de la Ciencia y los conocimientos científicos. De esta forma, en la enseñanza habitual se muestra una imagen deformada de las Ciencias y esto hace que los alumnos tengan una visión sesgada de la forma como se construyen y evolucionan los conceptos y las teorías científicas. Se les muestra una Ciencia sin historia, que refuerza el carácter parcial de la información.

Sostenemos que las fuerzas motrices de las Ciencias no pueden quedar fuera de las necesidades de la sociedad que las vio progresar, lo cual, creemos, concede a las Ciencias su propio tiempo y un modo propio de aparecer, madurar y crecer en la historia. No existe ningún tipo de verdad fuera de la historia de la Ciencia y, por tanto, ninguna verdad que escape a las condiciones de la historia: “*La Ciencia es siempre Ciencia con y en la Historia, nunca al margen de ella*” (Chade Vergara, 2010).

Entonces, deberemos ser capaces de idear metodologías pedagógicas para introducir la historia de la física en su enseñanza. El desafío que se plantea es hacer que “*estas reflexiones basadas en la*

historia de la ciencia se puedan transformar en actividades para el alumno”, ya que “estas consideraciones históricas se pueden traducir en cuestiones socio-científicas, que se pueden usar en las clases de ciencias” (Solbes, 2013) y es este mismo autor, en su trabajo, el que propone una excelente alternativa de aplicación a esta cuestión.

Está por demás probado que las visiones deformadas con respecto a la Ciencia, en general, y a la física, en particular, existen. En este trabajo creemos haber demostrado cómo la introducción de la historia de la física a su enseñanza, puede contribuir a desaparecer estas concepciones erróneas que se tienen sobre la física. No obstante, también estamos seguros que la historia de la Ciencia sirve para la enseñanza de cualquier disciplina.

Referencias bibliográficas

- Bachelard, G. (1938). *La Formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin.
- Bell, B. y J. Pearson (1992). Better Learning. *International Journal of Science Education*, 14, 3, 349-361.
- Boido, G. (1985). Algunas Reflexiones Educativas. *Revista de Enseñanza de la Física*, 1, 1, 15-21.
- Bridgman, P. (1950). *Reflections of a Physicist Philosophical*. U.S.A.: Arno Press.
- Campanario, J.; Moya, A. y J. Otero (2001). Invocaciones y usos inadecuados de la ciencia en la publicidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 19, 1, 45-56.
- Chade Vergara, P. (2010). *La Historia de la Dinámica en la Estructura Filosófica de Thomas Samuel Kuhn*. Tesis de Maestría. La Rioja: Universidad Nacional de La Rioja.
- Cohen, B. (1989). *El Nacimiento de una Nueva Física*. Madrid: Alianza Universidad Editorial.
- De Aragón, M. y J. Zamora (1993). El Constructivismo y la Formación de la Racionalidad Física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 6 ext., 33-42.
- De Azcárraga, J. (2005). Albert Einstein (1879-1955) y su ciencia. *Revista de la Unión Iberoamericana de Sociedades de Física*, 1, 35-53.
- Fernández, I.; Gil, D.; Carrascosa, J.; Cachapuz, A. y J. Praia (2002). Visiones Deformadas de la Ciencia Transmitidas por la Enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 3, 477-488.
- Gagliardi, R. y A. Giordan (1986). La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 4, 3, 253-258.
- Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la historia y la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 197-212.
- Gribbin, J. (2006). *Historia de la Ciencia*. Barcelona: Editorial Crítica.
- Kröber, G. (1986). Acerca de las relaciones entre la historia y la teoría del desarrollo de las ciencias. *Revista Cubana de Ciencias Sociales*, 4, 10, 37-44.
- Kuhn, T. (2004). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Lakatos, I. (1989). *La Metodología de los Programas de Investigación Científica*. Madrid: Editorial Alianza.
- Matthews, M. (1990). History, Philosophy and Science: A Rapprochement. *Studies in Science Education*, 18, 25-51.

- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 255-277.
- Mulhall, W.; Massa, M.; Marchisio, S. y P. Sánchez (1993). Metodología con Enfoque Histórico y Epistemológico para la Enseñanza de la Óptica. *Revista de Enseñanza de la Física*, 6 ext, 64-70.
- Newton, I. (1687). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Principios Matemáticos de Filosofía Natural)*. Londres.
- Paty, M. (2006). Einstein y el rol de las Matemáticas en la Física. *Praxis Filosófica*, 22, 5-27.
- Popper, K. (1977). *La Lógica de la Investigación Científica*. Madrid: Editorial Tecnos.
- Prada Márquez, B. (2002). *Galileo, Kepler, Descartes, Creadores del Pensamiento Moderno*. Bucaramanga: Editorial Sic.
- Ríos Acevedo, C. (2008). *De las vidas, las guerras y las ciencias. Y de las reflexiones y vivencias sobre la educación. De Pericles a Einstein*. Bogotá: Editorial Magisterio.
- Selley, N. (1989). The philosophy of school science. *Interchange*, 20, 2, 24-32.
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (I): Introducción. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (1), 1-10.
- Solbes, J. (2013). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (2), 171-181.
- Solbes, J. y M. Traver (1996). La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la Física y Química. *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (1), 103-112.
- Solbes, J. y M. Traver (2003). Against a Negative Image of Science: History of Science and the Teaching of Physics and Chemistry. *Science & Education*, 12 (7), 703-717.
- Stinner, A. (1992). Science textbooks and science teaching: from logic to evidence. *Science Education*, 76, 1, 1-16.
- Tobon, R. y A. Perea (1985). Problemas Actuales en la Enseñanza de la Física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 1, 1, 7-15.
- Toniuti, L. y H. Gibbs (1997). Uso Múltiple de Herramientas que Favorezcan Aprendizajes Significativos en Ciencias. *Memorias de la Décima Reunión Nacional de Educación en Física*, 1d – 07.
- Vázquez Alonso, A. y M. Manassero Mas (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología (parte 1): Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (1), 2-31.
- Zamorano, R.; Dell'Oro, G.; Vilanova, S. y G. Cutrera (1997). Propuesta de Actividades para la Enseñanza de la Conservación y Degradación de la Energía. *Memorias de la Décima Reunión Nacional de Educación en Física*, 1d – 06.